

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 07-302278

(43)Date of publication of application : 14.11.1995

(51)Int.Cl.

G06F 17/50  
G01R 29/08  
G06F 17/00  
// H05K 9/00

(21)Application number : 06-095364

(71)Applicant : FUJITSU LTD

(22)Date of filing : 10.05.1994

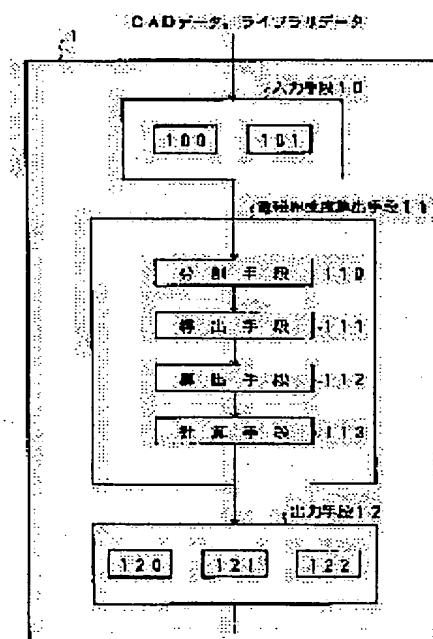
(72)Inventor : OTSU SHINICHI  
MUKAI MAKOTO  
NISHINO KANJI  
NAGASE KENJI

## (54) DEVICE FOR CALCULATING ELECTROMAGNETIC FIELD INTENSITY

(57)Abstract:

PURPOSE: To highly accurately calculate electromagnetic field intensity relating to an electromagnetic field intensity calculation device for calculating the electromagnetic field intensity radiated by an electric circuit device based on a moment method.

CONSTITUTION: This device is provided with an input means 10 for accurately inputting the structure bodies of printed board kinds cable kinds, lead kinds and metal case body kinds provided in the electric circuit device, a lead-out means 111 for leading out the simultaneous equations of the moment method for which a current made flow to the printed board kinds, the cable kinds, the lead kinds and the metal case body kinds and an equivalent current an equivalent magnetic current made flow to dielectrics provided in the printed board kinds and the other kinds are defined as unknowns corresponding to the inputted structure bodies of the electric circuit device, a calculation means 112 for calculating the current, the equivalent current and the equivalent magnetic current which are the unknowns by solving the lead out simultaneous equations of the moment method and the calculation means 113 for calculating the electromagnetic field intensity radiated by the electric circuit device from the calculated values of the calculation means 112.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

18.07.1996

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平7-302278

(43) 公開日 平成7年(1995)11月14日

(51) Int. Cl.<sup>6</sup>

識別記号

庁内整理番号

F I

技術表示箇所

G 0 6 F 17/50

G 0 1 R 29/08

G 0 6 F 17/00

D

7623-5L

G 0 6 F 15/ 60

4 5 0

8724-5L

15/ 20

D

審査請求 未請求 請求項の数 4 O L (全 14 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願平6-95364

(22) 出願日 平成6年(1994)5月10日

(71) 出願人 000005223

富士通株式会社

神奈川県川崎市中原区上小田中1015番地

(72) 発明者 大津 信一

神奈川県川崎市中原区上小田中1015番地

富士通株式会社内

(72) 発明者 向井 誠

神奈川県川崎市中原区上小田中1015番地

富士通株式会社内

(72) 発明者 西野 関司

神奈川県川崎市中原区上小田中1015番地

富士通株式会社内

(74) 代理人 弁理士 岡田 光由 (外1名)

最終頁に続く

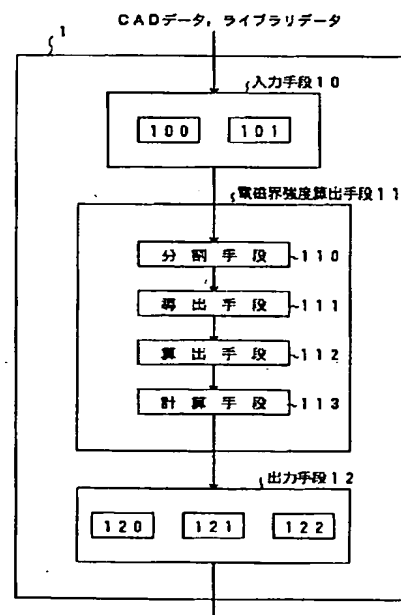
(54) 【発明の名称】 電磁界強度算出装置

(57) 【要約】

【目的】 本発明は、モーメント法に基づいて電気回路装置の放射する電磁界強度を算出する電磁界強度算出装置に関し、高い精度でもって電磁界強度を算出できるようにすることを目的とする。

【構成】 電気回路装置の持つプリント板類/ケーブル類/リード類/金属筐体類の構造体を正確に入力する入力手段10と、入力された電気回路装置の構造体に従い、プリント板類/ケーブル類/リード類/金属筐体類に流れる電流と、プリント板類や他の類の持つ誘電体に流れる等価電流及び等価磁流とを未知数とするモーメント法の連立方程式を導出する導出手段111と、導出されたモーメント法の連立方程式を解くことで、未知数である電流/等価電流/等価磁流を算出する算出手段112と、算出手段112の算出値から、電気回路装置の放射する電磁界強度を計算する計算手段113とを備えるように構成する。

本発明の原理構成図



## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】 モーメント法に基づいて電気回路装置の放射する電磁界強度を算出する電磁界強度算出装置において、  
電気回路装置の持つプリント板類／ケーブル類／リード類／金属筐体類の構造体を正確に入力する入力手段(10)と、

上記入力手段(10)の入力する電気回路装置の構造体に従い、プリント板類／ケーブル類／リード類／金属筐体類に流れる電流と、プリント板類や他の類の持つ誘電体に流れる等価電流及び等価磁流とを未知数とするモーメント法の連立方程式を導出する導出手段(111)と、

上記導出手段(111)の導出するモーメント法の連立方程式を解くことで、プリント板類／ケーブル類／リード類／金属筐体類に流れる電流と、プリント板類や他の類の持つ誘電体に流れる等価電流及び等価磁流とを算出する算出手段(112)と、

上記算出手段(112)の算出する算出値から、電気回路装置の放射する電磁界強度を計算する計算手段(113)とを備えることを、

特徴とする電磁界強度算出装置。

【請求項 2】 請求項 1 記載の電磁界強度算出装置において、

計算手段(113)の計算結果を図式化して出力する出力手段(12)を備えることを、

特徴とする電磁界強度算出装置。

【請求項 3】 請求項 1 又は 2 記載の電磁界強度算出装置において、

導出手段(111)は、入力される電気回路装置の構造体に従って、ケーブル類にコアが挿入されることを判断するときには、該コアの示す電流抑制効果を考慮しつつ、モーメント法の連立方程式を導出するよう処理することを、

特徴とする電磁界強度算出装置。

【請求項 4】 請求項 1、2 又は 3 記載の電磁界強度算出装置において、

導出手段(111)は、入力される電気回路装置の構造体に従って、大地の反射波を考慮する必要があると判断するときには、反射波を生成する構造体イメージを生成するとともに、該構造体イメージに対して実像とは同じ大きさを持つ逆向きの電磁流を想定することで、モーメント法の連立方程式を導出するよう処理することを、

特徴とする電磁界強度算出装置。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【産業上の利用分野】本発明は、モーメント法に基づいて電気回路装置の放射する電磁界強度を算出する電磁界強度算出装置に関し、特に、高い精度でもって電磁界強度を算出できるようにする電磁界強度算出装置に関する。

【0002】電気回路装置から不要放射される電波は、テレビやラジオ等の他の電波と干渉することから、最近、各国で厳しく規制されるようになってきた。このような規制の規格として、日本ではVCCI規格があり、米国ではFCC規格があり、ドイツではVDE規格がある。

【0003】このような電波規制を満足させるためには、シールド技術やフィルタ技術等のような種々の対策技術を使う必要があり、これらの対策技術がどの程度電波を減少させるかを定量的にシミュレートしていく必要がある。これから、高い精度でもって電気回路装置の放射する電磁界強度をシミュレートできるようにする電磁界強度算出装置の構築が叫ばれている。

## 【0004】

【従来の技術】任意形状の物体から放射される電磁界強度は、物体各部に流れる電流が分かれば、公知の理論式を用いて容易に計算することができる。この電流値は、理論的には、マックスウェルの電磁波動方程式を与えられた境界条件の下で解くことで得られるものであるが、任意形状物体を対象とした複雑な境界条件の下での理論的な解法は現在知られていない。

【0005】従って、現在の電磁界強度算出装置で用いられている電流を求める解法は、難易の程度はあるにせよ、すべて近似的なものである。現在、この近似的な解法として、微小ループアンテナ近似法と、分布定数線路近似法と、モーメント法という3種類のものが知られている。

【0006】微小ループアンテナ近似法は、波源回路と負荷回路との間を接続する配線をループアンテナとして扱い、ループ上の電流は平坦なものと仮定して、これを集中定数回路の計算手法で求める方法である。図23に、この微小ループアンテナ近似法の構成を図示する。

【0007】この微小ループアンテナ近似法による計算は、最も簡単であるが、ループの寸法が電磁波の波長に比べて無視できない条件では精度が極めて低下することから、現実には殆ど用いられていない。

【0008】一方、分布定数線路近似法は、1次元の構造物として近似できる物体に対して、分布定数線路の方程式を適用することで電流を求める方法である。計算は比較的簡単であり、計算時間及び記憶容量も解析要素数にほぼ比例して増加するに止まり、線路の反射や共振等の現象も含めた解析ができることから、1次元の近似が成立する物体については、高速・高精度の解析ができる。図24に、この分布定数線路近似法の構成を図示する。

【0009】この分布定数線路近似法による計算は、1次元の構造物として近似できる物体については、高速・高精度の解析ができるものの、近似できない物体については解析できないという問題点がある。

【0010】一方、モーメント法は、マックスウェルの

電磁波動方程式から導かれる積分方程式の解法の 1 つであり、3 次元の任意形状物体を扱うことができる。具体的には、物体を小さな要素に分割して電流の計算を行うものである。

#### 【0011】

【発明が解決しようとする課題】しかるに、従来の電磁界強度算出装置では、電気回路装置の持つプリント板に対してのみ、微小ループアンテナ近似法や分布定数線路近似法やモーメント法を適用して、このプリント板が放射する電磁波に従って、電気回路装置の放射する電磁界強度を算出していた。

【0012】しかしながら、このような従来技術に従っていると、プリント板の放射する電磁波が、電気回路装置の持つケーブルやワイヤやリードにより散乱、増幅され、また、電気回路装置の持つ金属筐体や金属構造物により散乱、遮蔽されるので、算出される電磁界強度が実測値とは大きく異なるという問題点があった。

【0013】本発明はかかる事情に鑑みてなされたものであって、モーメント法に基づいて電気回路装置の放射する電磁界強度を算出する構成を採るときにあって、高い精度でもって電磁界強度を算出できるようにする新たな電磁界強度算出装置の提供を目的とする。

#### 【0014】

【課題を解決するための手段】図 1 に本発明の原理構成を図示する。図中、1 は本発明により構成される電磁界強度算出装置であって、モーメント法に基づいて解析対象となる電気回路装置の放射する電磁界強度を算出する。

【0015】この電磁界強度算出装置 1 は、入力手段 10 と、電磁界強度算出手段 11 と、出力手段 12 とを備える。入力手段 10 は、外部から与えられる CAD データを変換する CAD データ変換手段 100 と、外部から与えられるライブラリデータを抽出するライブラリデータ抽出手段 101 とを備えて、解析対象となる電気回路装置の構造体を入力する。

【0016】電磁界強度算出手段 11 は、入力手段 10 の入力した電気回路装置の構造体をメッシュに分割する分割手段 110 と、分割手段 110 の分割した電気回路装置の構造体に従ってモーメント法の連立方程式を導出する導出手段 111 と、導出手段 111 の導出したモーメント法の連立方程式を解く算出手段 112 と、算出手段 112 の解いた値から電気回路装置の放射する電磁界強度を計算する計算手段 113 とを備えて、モーメント法に基づいて解析対象となる電気回路装置の放射する電磁界強度を算出する。

【0017】出力手段 12 は、算出された電磁界強度の示す電磁界放射パターンを図式化する電磁界放射パターン図化手段 120 と、算出された電磁界強度の示す電磁界マップを図式化する電磁界マップ図化手段 121 と、算出された電磁界強度の示す周波数スペクトルを図式化

する周波数スペクトル図化手段 122 とを備えて、電磁界強度算出手段 11 の算出結果を図式化して出力する。

#### 【0018】

【作用】本発明では、入力手段 10 は、解析対象となる電気回路装置の持つプリント板類／ケーブル類／リード類／金属筐体類の構造体を正確に入力する。すなわち、プリント板類以外のケーブル類／リード類／金属筐体類についても正確に入力するのである。なお、ここで言うプリント板類とは、電磁波の直接的な放射源となる回路装置を総称するものである。

【0019】解析対象となる電気回路装置の構造体が正確に入力されると、分割手段 110 は、その電気回路装置をメッシュに分割する。続いて、導出手段 111 は、分割したプリント板類と、分割したケーブル類／リード類／金属筐体類との間の相互関係と、分割したケーブル類と、分割したプリント板類／リード類／金属筐体類との間の相互関係と、分割したリード類と、分割したプリント板類／ケーブル類／金属筐体類との間の相互関係と、分割した金属筐体類と、分割したプリント板類／ケーブル類／リード類との間の相互関係とを考慮しつつ、プリント板類の持つ金属に流れる電流と、ケーブル類に流れる電流（金属表面の電界をゼロにしようとするために金属表面に流れる本来の伝送電流でない共通モード電流も含む）と、リード類に流れる電流（共通モード電流も含む）と、金属筐体類の表面に流れる共通モード電流と、プリント板類や他の類の持つ誘電体の表面に流れる等価電流／等価磁流とを未知数とするモーメント法の連立方程式を導出する。

【0020】このとき、導出手段 111 は、入力される電気回路装置の構造体に従って、ケーブル類に共通モード電流の低減化を実現するコアが挿入されることを判断するときには、そのコアの示す共通モード電流の抑制効果を考慮しつつモーメント法の連立方程式を導出する。また、導出手段 111 は、入力される電気回路装置の構造体に従って、大地の反射波を考慮する必要があると判断するときには、反射波を生成する構造体イメージを生成するとともに、その構造体イメージに対して実像とは同じ大きさを持つ逆向きの電磁流を想定することで、モーメント法の連立方程式を導出する。

【0021】導出手段 111 によりモーメント法の連立方程式が導出されると、算出手段 112 は、この連立方程式を解くことで、プリント板類の持つ金属に流れる電流と、ケーブル類に流れる電流（共通モード電流も含む）と、リード類に流れる電流（共通モード電流も含む）と、金属筐体類の表面に流れる共通モード電流と、プリント板類や他の類の持つ誘電体の表面に流れる等価電流／等価磁流とを算出し、この算出結果を受けて、計算手段 113 は、この算出値から、電気回路装置の放射する電磁界強度を計算する。

【0022】そして、出力手段 12 は、電磁界放射パタ

ーン図化手段120/電磁界マップ図化手段121/周波数スペクトル図化手段122を使って、この計算された電磁界強度を図式化して出力する。

【0023】このように、本発明では、プリント板類の放射する電磁波に従ってケーブル類/リード類/金属筐体類にコモンモード電流が流れ、これが新たな強い電磁波源となることを認識して、モーメント法に従ってこのコモンモード電流を算出する構成を採って、電気回路装置の放射する電磁界強度を算出する構成を採るものであることから、電気回路装置の放射する電磁界強度を高い精度でもって算出できるようになる。

【0024】

【実施例】以下、実施例に従って本発明を詳細に説明する。本発明の電磁界強度算出装置1には、解析対象となる電気回路装置の構造体が正確に入力されることになる。この入力データには、解析対象となる電気回路装置の機械系CADデータと、解析対象となる電気回路装置の電気系CADデータと、解析対象となる電気回路装置のライブラリデータとがある。

【0025】図2に、電磁界強度算出装置1に入力されるライブラリデータのデータ構造の一例、図3に、この図2に示す各ライブラリの詳細なデータ構造の一例を図示する。

【0026】これらの図からも分かるように、本発明の電磁界強度算出装置1には、解析対象となる電気回路装置の構造体が正確に入力される構成が採られるのであって、電磁波を直接放射するプリント板の構造のみならず、電気回路装置の持つケーブルやリードやワイヤや、ケーブルに装着されるコアや、電気回路装置の持つ金属構造物や金属筐体や、その金属筐体を持つ開口部や、電気回路装置の持つ大地面等の構造についても漏れなく正確に入力される構成が採られる。

【0027】このような正確な入力構成を採るのは、電気回路装置の放射する電磁波は、回路(プリント板)から直接放射されるものばかりでなく、ケーブルやリードやワイヤや金属構造物や金属筐体からも放射され、むしろこれらのものの方が強い場合が多いことから、これを解析対象に入れるためである。

【0028】すなわち、図4に示すように、回路からの電磁波が電気回路装置の持つ金属物に放射され、金属表面の電界が常にゼロであるという金属の境界条件を満足させるべく、金属物の表面にこの入力電界を打ち消すためのコモンモード電流が流れて、このコモンモード電流が強い電磁波を放射するという点を考慮して、回路以外の持つ金属物の構造体についても正確に入力する構成を採るのである。従来の電磁界強度算出装置では、回路の持つ伝送路の金属物(行き来するディファンシャル電流が流れる)のみを解析対象とし、非伝送路の金属物の表面に流れるコモンモード電流については解析対象としていなかった。

【0029】このコモンモード電流は、グラウンド線や、シールドケーブルのシールド部分や、ツイストペアのケーブルにも流れる。すなわち、従来であれば、電磁波を放射しないとして扱っていたケーブルにも流れて強い電磁波の放射源となるので、本発明では、これらのケーブルについても漏れなく解析対象とするようにしている。

【0030】また、このような正確な入力構成を採るのは、電気回路装置がシールドボックスを持つ場合には、シールドボックスで電磁波の放射が阻止されるものの、シールドボックスが開口部を持つ場合には、この開口部から漏れる電磁波が無視できないことから、これを解析対象に入れるためである。

【0031】すなわち、図5に示すように、シールドボックスの開口部の位置や大きさにより外部に放射される電磁波が変化し、更に、この電磁波により、外部に出力されるケーブルに流れるコモンモード電流の大きさが変化することで放射される電磁波が変化するので、開口部についても正確に入力する構成を採るのである。従来の電磁界強度算出装置では、このようなシールドボックスの開口部の影響については解析対象としていなかった。

【0032】また、このような正確な入力構成を採るのは、電気回路装置の持つケーブルにコアが装着される場合には、そのコアの抵抗成分によりケーブルに流れるコモンモード電流が小さなものに抑えられることになるので、これを解析対象に入れるためである。

【0033】すなわち、図6に示すように、ケーブルにコアが装着されると、そのコアの抵抗成分によりケーブルに流れるコモンモード電流が小さなものに抑えられ、これにより放射される電磁波が変化するので、ケーブルに装着されるコアについても正確に入力する構成を採るのである。従来の電磁界強度算出装置では、このようなコアの影響については解析対象としていなかった。

【0034】また、このような正確な入力構成を採るのは、電気回路装置が大地面を持つ場合には、その大地面で反射波が生成されるので、これを解析対象に入れるためである。

【0035】すなわち、図7に示すように、大地面があると、その大地面で反射波が生成され、これにより放射される電磁波が変化するので、大地面についても正確に入力する構成を採るのである。従来の電磁界強度算出装置では、このような大地面の影響については解析対象としていなかった。

【0036】このようにして解析対象となる電気回路装置の正確な構造体が入力されると、電磁界強度算出装置1の備える電磁界強度算出手段11は、先ず最初に、図8に示すように、入力されてきた電気回路装置の構造体をメッシュに分割する。

【0037】例えば、金属のワイヤ部分については線分

7

割することで、図9 (a) に示すようにワイヤのダイポールを生成し、金属や誘電体の面部分については面分割することで、図9 (b) に示すようにサーフェスパッチのダイポールを生成し、金属の線部分と金属の面部分との接続部分となる金属の面部分については放射状に分割することで、図9 (c) に示すようにアタッチメントのダイポールを生成するのである。ここで、金属の線部分と金属の面部分との接続部分となる金属の面部分を放射状に分割するのは、電流の流れる形態に従う形状に分割することで高精度の実現を図るからである。

【0038】電磁界強度算出手段11は、空気中であるのか誘電体内であるのかを表す識別子を $q$ （以下、空気中であるときには $q=0$ 、誘電体内であるときには $q=d$ とする）、 $2\pi$ を波長 $\lambda$ で割った値を $k$ で表すならば、このようにして生成した金属のワイヤのダイポールについては、

【0039】

【数1】

$$J_s^w = \frac{\vec{Z}}{2\pi a} \frac{\sin k^q (Z - Z_1)}{\sin k^q (Z_2 - Z_1)} \quad 20$$

$$Z_1 \leq Z \leq Z_2$$

$$J_s^w = \frac{\vec{Z}}{2\pi a} \frac{\sin k^q (Z_3 - Z)}{\sin k^q (Z_3 - Z_2)}$$

$$Z_2 \leq Z \leq Z_3$$

$$J_s^s = K_s^s = \vec{Z} \frac{\sin k^q (Z - Z_1) \cos ky}{2 \sin k^q (Z_2 - Z_1) \sin kw} \quad *30$$

$$Z_1 \leq Z \leq Z_2$$

$$J_s^s = K_s^s = \vec{Z} \frac{\sin k^q (Z_3 - Z) \cos ky}{2 \sin k^q (Z_3 - Z_2) \sin kw}$$

$$Z_2 \leq Z \leq Z_3$$

【0044】という展開関数 $J$ 、 $K$ （ $J$ は電流の展開関数、 $K$ は磁流の展開関数）を想定して、金属の面部分に流れる電流や誘電体の面部分に流れる等価電流を $J_s$ 、誘電体の面部分に流れる等価磁流を $M_s$ で表すならば、この展開関数を使って、電流 $J_s$ を上述の【数2】式のように $N_c$ 個の展開関数のセットに展開し、一方、この展開関数を使って、等価磁流 $M_s$ を

【0045】

8

\*【0040】という展開関数 $J$ （式中に示す矢印の付加された $Z$ は、 $z$ 方向の単位ベクトルであり、 $a$ はワイヤの半径である）を想定して、金属のワイヤ部分に流れる電流を $J_s$ で表すならば、この展開関数を使って、電流 $J_s$ を

【0041】

【数2】

$$J_s = \sum_{n=1}^{N_c} I_n J_n$$

10

【0042】のように $N_c$ 個の展開関数のセットに展開する。ここで、この係数 $I_n$ が電流の大きさを表し、最終的にはモーメント法の連立方程式の未知数となる。また、このようにして生成した金属や誘電体のサーフェスパッチのダイポールについては、

【0043】

【数3】

【数4】

$$M_s = \sum_{n=1}^{N_d} M_n K_n$$

【0046】のように $N_d$ 個の展開関数のセットに展開する。ここで、この係数 $I_n$ が電流の大きさを表し、最終的にはモーメント法の連立方程式の未知数になると

50 もに、この係数 $M_n$ が磁流の大きさを表し、最終的には

モーメント法の連立方程式の未知数となる。

【0047】また、このようにして生成した金属のアタッチメントのダイポールについては、

【0048】

【数5】

$$J_s^a = \rho \frac{\sin k^a (b - \rho)}{2\pi \rho \sin k^a (b - a)}$$

$$a \leq \rho \leq b$$

【0049】という展開関数 $J$ （式中に示す矢印の付加された $\rho$ は、 $\rho$ 方向の単位ベクトルである）を想定して、金属のアタッチメント部分に流れる電流を $J_s$ で表すならば、この展開関数を使って、電流 $J_s$ を上述の【数2】式のように $N_c$ 個の展開関数のセットに展開する。ここで、この係数 $1/n$ が電流の大きさを表し、最終的にはモーメント法の連立方程式の未知数となる。

【0050】続いて、電磁界強度算出手段11は、分割した金属同士の相互インピーダンス $Z^0_{c,c}$ と、分割した金属と誘電体との相互インピーダンス $Z^0_{c,d} / Z^0_{d,c}$ と、分割した誘電体同士の相互インピーダンス $Z^0_{d,d}$ と、分割した誘電体同士の相互アドミタンス $Y^0_{d,d} / Y^0_{c,d}$ と、分割した金属と誘電体との相互リアクション $B^0_{c,d} / B^0_{d,c}$ と、分割した誘電体同士の相互リアクション $B^0_{d,d} / B^0_{c,d}$ とを算出する。

\* $d, c$ と、分割した誘電体同士の相互インピーダンス $Z^0_{d,d}$ と、分割した誘電体同士の相互アドミタンス $Y^0_{d,d} / Y^0_{c,d}$ と、分割した金属と誘電体との相互リアクション $B^0_{c,d} / B^0_{d,c}$ と、分割した誘電体同士の相互リアクション $B^0_{d,d} / B^0_{c,d}$ とを算出する。

【0051】ここで、肩付き文字“0”は空気中での計算値を表し、肩付き文字“d”は誘電体中での計算値を表し、添え字“c”は金属を表し、添え字“d”は誘電体を表し、添え字“c, c”は、金属から金属への相互関係を表し、添え字“d, d”は、誘電体から誘電体への相互関係を表し、添え字“c, d”は、誘電体から金属への相互関係を表し、添え字“d, c”は、金属から誘電体への相互関係を表している。

【0052】この算出処理は、具体的には、メッシュuのm番目の展開関数の電流がメッシュvに与える電界を $E^a(J_u, m)$ で表すならば、メッシュuのm番目の展開関数の電流と、メッシュvのn番目の展開関数の電流との間の相互インピーダンスは、

【0053】

【数6】

$$Z^a_{u, v, mn} = - \iint_{S_{vn}} J_v \cdot n \cdot E^a(J_u, m) d\mathbf{s}$$

【0054】で表されるので、これを算出することで実行する。また、メッシュuのm番目の展開関数の磁流がメッシュvに与える磁界を $H^a(K, m)$ で表すならば、メッシュuのm番目の展開関数の磁流と、メッシュvのn番目の展開関数の磁流との相互アドミタンスは、

【0055】

【数7】

$$Y^a_{d, d, mn} = - \iint_{S_{dn}} K_n \cdot H^a(K, m) d\mathbf{s}$$

【0056】で表されるので、これを算出することで実行する。また、メッシュuのm番目の展開関数の電流がメッシュvに与える磁界を $H^a(J_u, m)$ で表すならば、メッシュuのm番目の展開関数の電流と、メッシュvのn番目の展開関数の磁流との相互リアクションは、

【0057】

【数8】

$$B^a_{u, v, mn} = \iint_{S_{vn}} K_n \cdot H^a(J_u, m) d\mathbf{s}$$

【0058】で表されるので、これを算出することで実行する。また、誘電体メッシュuのm番目の展開関数の磁流がメッシュvに与える電界を $E^a(K, m)$ で表すならば、誘電体メッシュuのm番目の展開関数の磁流と、メッシュvのn番目の展開関数の電流との相互リアクションは、

【0059】

【数9】

$$B^a_{d, v, mn} = - \iint_{S_{vn}} J_n \cdot E^a(K, m) d\mathbf{s}$$

【0060】で表されるので、これを算出することで実行する。なお、この算出処理にあたって、一方のメッシュに流れる電流／磁流が、他方のメッシュに与える電界／磁界を計算する必要があるが、これは、図10に示すような波源と観測点との関係を想定するとともに、図中に示す電流 $J^+ / J^-$ を想定すると、電流 $J^+$ による電界のz方向成分 $E_z^+$ と、 $\rho$ 方向成分 $E_\rho^+$ は、図11に示す算出式に従って算出され、電流 $J^-$ による電界のz方向成分 $E_z^-$ と、 $\rho$ 方向成分 $E_\rho^-$ は、図12に示す算出式に従って算出され、電流 $J^+$ による磁界 $H_\phi^+$ と、電流 $J^-$ による磁界 $H_\phi^-$ は、図13に示す算出式に従って算出される。

【0061】また、電流 $J^+$ と同じ関数形態を示す磁流 $K^+$ による電界は、上記の $-H_\phi^+$ に従って算出され、電流 $J^-$ と同じ関数形態を示す磁流 $K^-$ による電界は、上記の $-H_\phi^-$ に従って算出され、この磁流 $K^+$ による磁界は、上記の $E_z^+$ 、 $E_\rho^+$ を使って図13に示す式に従って算出され、この磁流 $K^-$ による磁界は、上記の

【0061】また、電流 $J^+$ と同じ関数形態を示す磁流 $K^+$ による電界は、上記の $-H_\phi^+$ に従って算出され、電流 $J^-$ と同じ関数形態を示す磁流 $K^-$ による電界は、上記の $-H_\phi^-$ に従って算出され、この磁流 $K^+$ による磁界は、上記の $E_z^+$ 、 $E_\rho^+$ を使って図13に示す式に従って算出され、この磁流 $K^-$ による磁界は、上記の

$E_z^-$ ,  $E_\rho^-$  を使って図 13 に示す式に従って算出されることになる。

【0062】このようにして、相互インピーダンス／相互アドミッタンス／相互リアクションを算出すると、続いて、電磁界強度算出手段 11 は、プリント板に存在する波源を  $V_i$  で表すならば、この波源  $V_i$  と、分割した金属に流れる電流の大きさを表す係数  $I_{c,n}$  と、分割した誘電体の表面に流れる等価電流の大きさを表す係数  $I_{d,n}$  と、分割した誘電体の表面に流れる等価磁流の大きさを表す係数  $M_n$  とを使い、金属の表面電界値がゼロを示すという境界条件から導かれるモーメント法の連立方程式

$$\begin{bmatrix} Z^0_{c,c} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{c,n} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} Z^0_{c,d} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{d,n} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} B^0_{c,d} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} M_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} V_i \end{bmatrix}$$

と、誘電体の境界面の両側で電界の接線成分が等しいという境界条件から導かれるモーメント法の連立方程式

$$\begin{bmatrix} Z^0_{d,c} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{c,n} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} Z^0_{d,d} + Z^d_{d,d} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{d,n} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} B^0_{d,d} + B^d_{d,d} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} M_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \end{bmatrix}$$

と、誘電体の境界面の両側で磁界の接線成分が等しいという境界条件から導かれるモーメント法の連立方程式

$$\begin{bmatrix} B^0_{d,c} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{c,n} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} B^0_{d,d} + B^d_{d,d} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{d,n} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -Y^0_{d,d} - Y^d_{d,d} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} M_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \end{bmatrix}$$

とを導出する。ここで、「 $\begin{bmatrix} \end{bmatrix}$ 」はマトリクスを表している。

【0063】すなわち、図 14 (a) に示すようなモーメント法の連立方程式を導出するのである。このモーメント法の連立方程式の導出にあたって、電磁界強度算出手段 11 は、ケーブルにコモンモード電流の低減化を実現するコアが挿入されるときには、図 14 (b) に示すように、そのケーブルの持つ相互インピーダンス  $Z^0_{c,c}$  をそのコアのインピーダンス  $Z_L$  分減じることで、モーメント法の連立方程式を導出していくことになる。

【0064】また、反射波を生成する大地面があるときには、図 15 に示すように、反射波を生成する構造体イメージを生成するとともに、その構造体イメージに対して実像とは同じ大きさを持つ逆向きの電磁流を想定する。そして、図 16 (a) に示すような実像間のモーメント法のマトリクスを算出するとともに、図 16 (b) に示すような実像とイメージとの間のモーメント法のマトリクスを算出して、この 2 つのマトリクスを使って、図 16 (c) に示すようなモーメント法の連立方程式を導出していくことになる。

【0065】イメージが理論的には実像に対して負の極性を持つことを利用して、イメージ電流を実像電流に対して負の極性を持つもので表すというこのような反射波処理を行うと、未知数の増加がないことで、計算時間は概略 2 倍程度で済むことになる。これに対して、イメージ電流を未知数として扱うと、未知数が 2 倍となり、計算時間も概略 4 倍もかかることになる。すなわち、このような反射波処理を行うことで、高速処理が実現できる

のである。

【0066】このようにして、モーメント法の連立方程式を導出すると、続いて、電磁界強度算出手段 11 は、この連立方程式を解くことで、プリント板の持つ金属に流れる電流と、プリント板の持つ誘電体の表面に流れる等価電流／等価磁流と、ケーブルやワイヤやリードに流れる電流（コモンモード電流も含む）と、金属筐体や金属構造物に流れるコモンモード電流とを算出する。

【0067】続いて、電磁界強度算出手段 11 は、この算出した電流／等価電流／等価磁流を使い、図 10 ないし図 13 に示した算出式に従って、電気回路装置の放射する電磁界強度を計算する。すなわち、従来では考慮していなかったコモンモード電流の放射する電磁界強度を考慮しつつ、電気回路装置の放射する電磁界強度を計算するのである。

【0068】以上に説明した電磁界強度算出手段 11 の算出処理に従って、電気回路装置の放射する電磁界強度が計算されると、電磁界強度算出装置 1 の出力手段 12 は、図 17 (a) に示すような放射電磁界強度をパターン表示する電磁界放射パターンを生成して出力したり、図 17 (b) に示すような放射電磁界強度を濃度表示する電磁界マップを生成して出力したり、図 18 に示すような放射電磁界強度の周波数分布をグラフ表示する周波数スペクトラムを生成して出力する。

【0069】最後に、本発明の有効性を検証するために行ったシミュレーション結果について説明する。このシミュレーションでは、図 19 に示す機械構造の電気回路装置を想定し、この電気回路装置の持つプリント板が、図 20 (a) に示す回路構成の 2 つのクロックパターンを持つことを想定して、このクロックパターンの回路構成を図 20 (b) に示す等価回路に変換するとともに、電気回路装置全体を図 21 に示すようなメッシュ（ワイヤ：295、サーフェイスパッチ：464、未知数：1066）に分割することで行った。

【0070】図 22 に、このシミュレーションで生成した電磁界マップを図示する。観測点の高さ位置は、0.865m である。なお、この電磁界マップは、本来カラーで出力されるものを図示したことから、濃度順に電磁界強度が大きくなるようにとはなっていない。

【0071】この電磁界マップに示すように、筐体開口部があることで、外部に接続されるグランド線のケーブルからも電磁波が放射されていることがシミュレートできた。そして、この電磁界マップの示す電磁界強度は、実測値と極めてよい精度で一致することが確認された。

【0072】

【発明の効果】以上説明したように、本発明によれば、プリント板以外の金属物に流れるコモンモード電流の放射する電磁界強度についても考慮することで、電気回路装置の放射する電磁界強度を高精度でもって算出できる



13

ようになる。

【0073】そして、ケーブルに装着するコアが持つ放射電磁界強度の削減機能を数値的に評価できるようになるとともに、大地面による放射電磁界強度の影響を数値的にしかも高速に評価できるようになる。

【図面の簡単な説明】

- 【図1】本発明の原理構成図である。  
 【図2】ライブラリデータの説明図である。  
 【図3】ライブラリデータの説明図である。  
 【図4】本発明の処理説明図である。  
 【図5】本発明の処理説明図である。  
 【図6】本発明の処理説明図である。  
 【図7】本発明の処理説明図である。  
 【図8】メッシュ分割の一例である。  
 【図9】分割形態の説明図である。  
 【図10】波源と観測点との関係図である。  
 【図11】電界の算出式の説明図である。  
 【図12】電界の算出式の説明図である。  
 【図13】電界・磁界の算出式の説明図である。  
 【図14】モーメント法の連立方程式の説明図である。  
 【図15】反射波処理の説明図である。  
 【図16】反射波処理の説明図である。

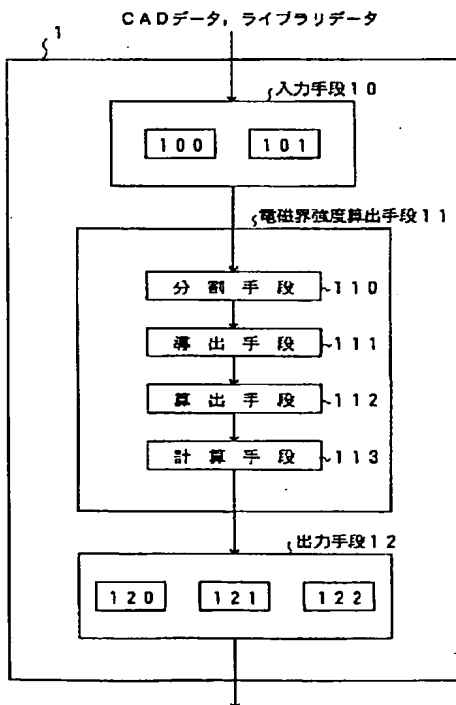
14

- 【図17】電磁界強度の出力処理の説明図である。  
 【図18】電磁界強度の出力処理の説明図である。  
 【図19】シミュレーションの説明図である。  
 【図20】シミュレーションの説明図である。  
 【図21】シミュレーションの説明図である。  
 【図22】シミュレーションの説明図である。  
 【図23】微小ループアンテナ近似法の説明図である。  
 【図24】分布定数線路近似法の説明図である。  
 【符号の説明】

- 10 1 電磁界強度算出装置  
 10 入力手段  
 11 電磁界強度算出手段  
 12 出力手段  
 100 CADデータ変換手段  
 101 ライブラリデータ抽出手段  
 110 分割手段  
 111 導出手段  
 112 算出手段  
 113 計算手段  
 20 120 電磁界放射パターン図化手段  
 121 電磁界マップ図化手段  
 122 周波数スペクトル図化手段

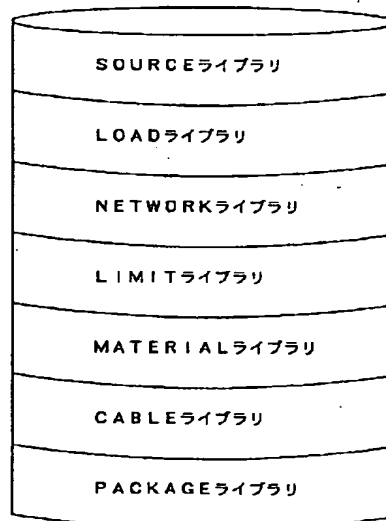
【図1】

本発明の原理構成図



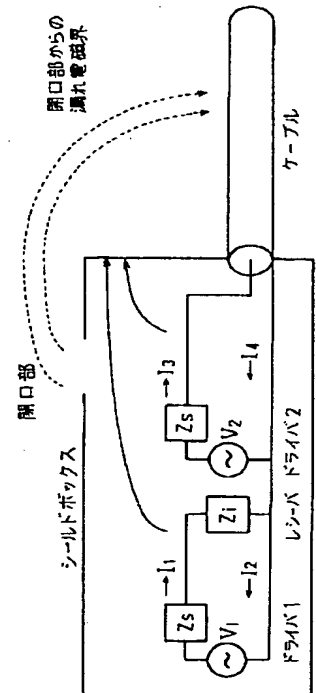
【図2】

ライブラリデータの説明図



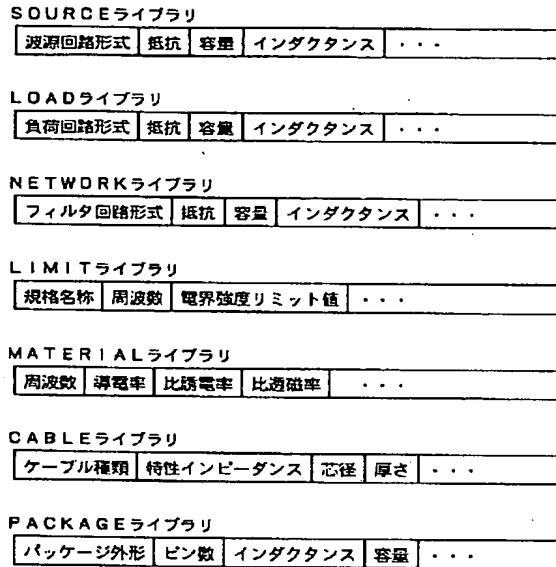
【図5】

本発明の処理説明図



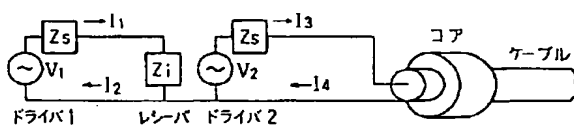
【図3】

## ライブラリデータの説明図



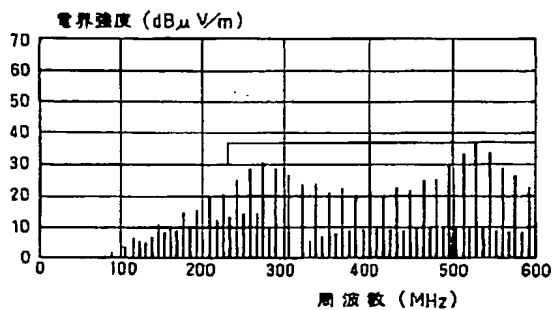
【図6】

## 本発明の処理説明図



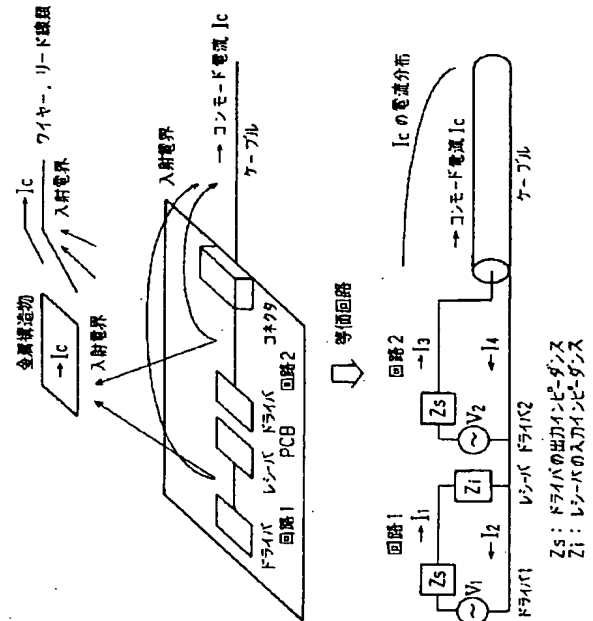
【図18】

## 電磁界強度の出力処理の説明図



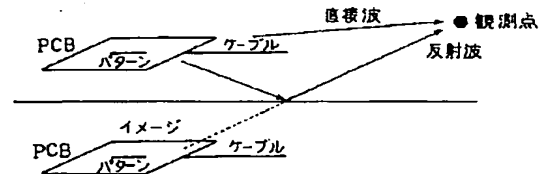
【図4】

## 本発明の処理説明図



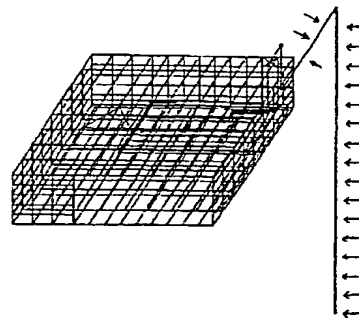
【図7】

## 本発明の処理説明図



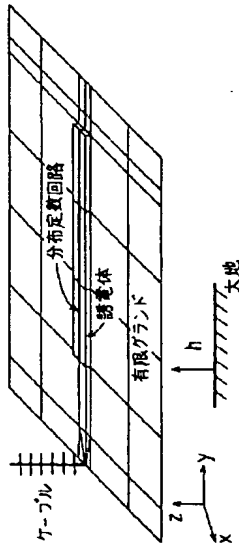
【図21】

## シミュレーションの説明図



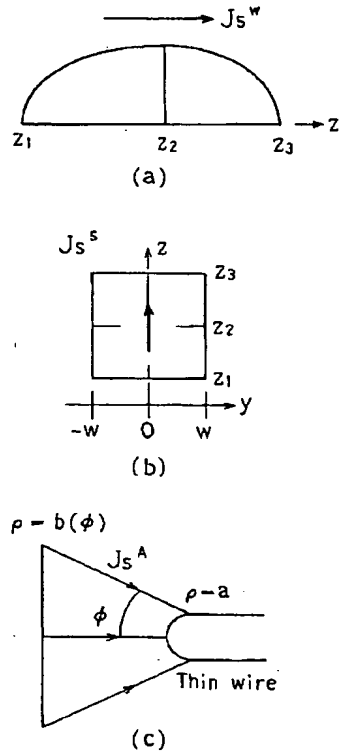
【図 8】

メッシュ分割の一例



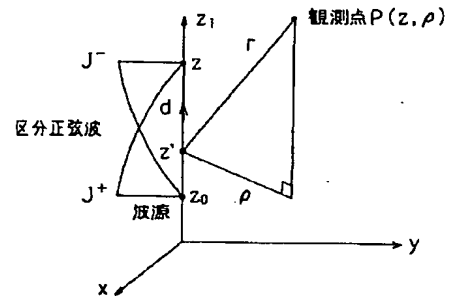
【図 9】

分割形態の説明図



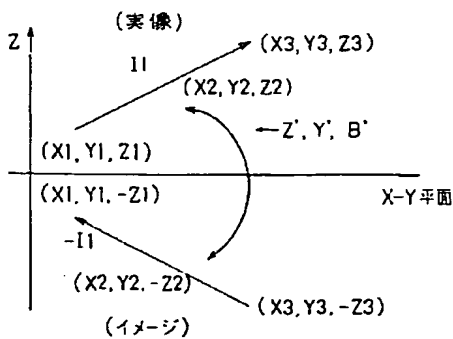
【図 10】

波源と観測点との関係図

モノポール端位置  $z_0, z_1$ 電流の方向  $z_0 \rightarrow z_1$ 波源位置  $z'$ モノポール長  $d (= z_1 - z_0)$ 波源～観測点距離  $r = \sqrt{\rho^2 + (z - z')^2}$  $r_0 = \sqrt{\rho^2 + (z - z_0)^2}$  $r_1 = \sqrt{\rho^2 + (z - z_1)^2}$ 電流分布  $J^+ = \frac{\sin k(d - z' + z_0)}{\sin kd}$  $J^- = \frac{\sin k(d + z' - z_1)}{\sin kd}$ 

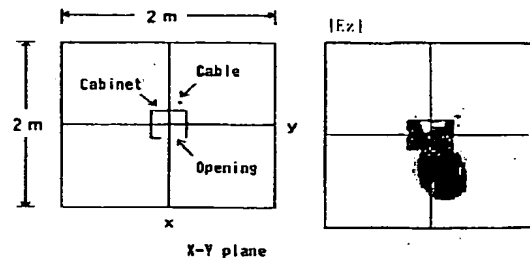
【図 15】

反射波処理の説明図



【図 22】

シミュレーションの説明図



【図11】

電界の算出式の説明図

$$\begin{aligned}
 E_z^+(z, \rho) = & -\frac{j\omega\mu}{4\pi k \sin kd} \left[ \frac{\exp(-jkr_1)}{r_1} - \cos kd \frac{\exp(-jkr_0)}{r_0} \right. \\
 & \left. - j(z-z_0) \sin kd \frac{\exp(-jkr_0)}{r_0^2} - \frac{z-z_0}{k} \sin kd \frac{\exp(-jkr_0)}{r_0^3} \right] \\
 E_\rho^+(z, \rho) = & -\frac{j\omega\mu}{4\pi k \rho \sin kd} \left[ -(z-z_1) \frac{\exp(-jkr_1)}{r_1} + (z-z_0) \cos kd \frac{\exp(-jkr_0)}{r_0} \right. \\
 & \left. + j(z-z_0)^2 \sin kd \frac{\exp(-jkr_0)}{r_0^3} - \frac{\rho^2}{k} \sin kd \frac{\exp(-jkr_0)}{r_0^3} \right] \\
 E_z^-(z, \rho) = & -\frac{j\omega\mu}{4\pi k \sin kd} \left[ \frac{\exp(-jkr_0)}{r_0} - \cos kd \frac{\exp(-jkr_1)}{r_1} \right. \\
 & \left. + j(z-z_1) \sin kd \frac{\exp(-jkr_1)}{r_1^2} - \frac{z-z_1}{k} \sin kd \frac{\exp(-jkr_1)}{r_1^3} \right] \\
 E_\rho^-(z, \rho) = & -\frac{j\omega\mu}{4\pi k \rho \sin kd} \left[ -(z-z_0) \frac{\exp(-jkr_0)}{r_0} + (z-z_1) \cos kd \frac{\exp(-jkr_1)}{r_1} \right. \\
 & \left. - j(z-z_1)^2 \sin kd \frac{\exp(-jkr_1)}{r_1^3} + \frac{\rho^2}{k} \sin kd \frac{\exp(-jkr_1)}{r_1^3} \right]
 \end{aligned}$$

【図12】

電界の算出式の説明図

$$\begin{aligned}
 E_z^+(z, \rho) = & -\frac{j\omega\mu}{4\pi k \sin kd} \left[ \frac{\exp(-jkr_0)}{r_0} - \cos kd \frac{\exp(-jkr_1)}{r_1} \right. \\
 & \left. + j(z-z_1) \sin kd \frac{\exp(-jkr_1)}{r_1^2} - \frac{z-z_1}{k} \sin kd \frac{\exp(-jkr_1)}{r_1^3} \right] \\
 E_\rho^+(z, \rho) = & -\frac{j\omega\mu}{4\pi k \rho \sin kd} \left[ -(z-z_0) \frac{\exp(-jkr_0)}{r_0} + (z-z_1) \cos kd \frac{\exp(-jkr_1)}{r_1} \right. \\
 & \left. - j(z-z_1)^2 \sin kd \frac{\exp(-jkr_1)}{r_1^3} + \frac{\rho^2}{k} \sin kd \frac{\exp(-jkr_1)}{r_1^3} \right]
 \end{aligned}$$

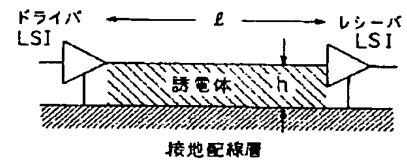
【図13】

電界・磁界の算出式の説明図

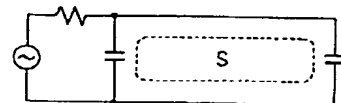
	電 流 源	磁 流 源
電界	$E_z^+, E_\rho^+$ $E_z^-, E_\rho^-$	$-H_\phi^+$ $-H_\phi^-$
磁界	$H_\phi^+$ $H_\phi^-$	$\frac{z}{\mu} E_z^+, \frac{z}{\mu} E_\rho^+$ $\frac{z}{\mu} E_z^-, \frac{z}{\mu} E_\rho^-$

【図23】

微小ループアンテナ近似法の説明図



電 流

電波放射量  $\propto$  周波数<sup>2</sup> × 電流 × ループ面積 (一様)

【図14】

モーメント法の連立方程式の説明図

$$\begin{aligned}
 & \begin{bmatrix} Z^0 c, c & Z^0 c, d \\ Z^0 d, c & Z^0 d, d \\ B^0 d, c & B^0 d, d \end{bmatrix} \begin{bmatrix} B^0 c, d \\ B^0 d, d + Z^0 d, d + B^0 d, d \\ B^0 d, d + B^0 d, d - Y^0 d, d \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{c, n} \\ I_{d, n} \\ M_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} V_i \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (a) \\
 & \begin{bmatrix} Z^0 c, c - ZL & Z^0 c, d \\ Z^0 d, c & Z^0 d, d + Z^0 d, d + B^0 d, d \\ B^0 d, c & B^0 d, d + B^0 d, d - Y^0 d, d \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{c, n} \\ I_{d, n} \\ M_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} V_i \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (b)
 \end{aligned}$$

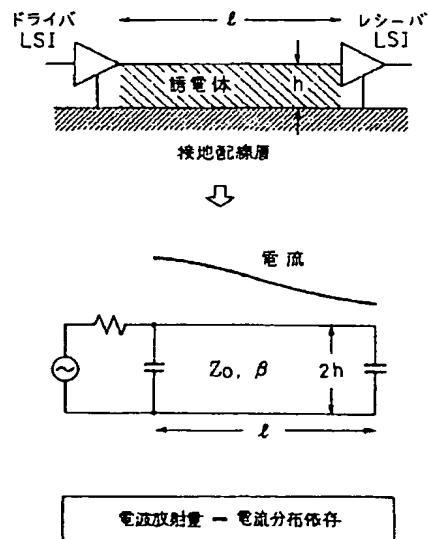
【図16】

反射波処理の説明図

$$\begin{aligned}
 & [M] = \begin{bmatrix} Z^0 c, c & Z^0 c, d \\ Z^0 d, c & Z^0 d, d + Z^0 d, d + B^0 d, d \\ B^0 d, c & B^0 d, d + B^0 d, d - Y^0 d, d \end{bmatrix} \begin{bmatrix} B^0 c, d \\ B^0 d, d + B^0 d, d \\ -Y^0 d, d \end{bmatrix} \quad (a) \\
 & [M'] = \begin{bmatrix} Z^0 c, c' & Z^0 c, d' \\ Z^0 d, c' & Z^0 d, d' + Z^0 d, d' + B^0 d, d' \\ B^0 d, c' & B^0 d, d' + B^0 d, d' - Y^0 d, d' \end{bmatrix} \begin{bmatrix} B^0 c, d' \\ B^0 d, d' + B^0 d, d' \\ -Y^0 d, d' \end{bmatrix} \quad (b) \\
 & [M] - [M'] = \begin{bmatrix} I_{c, n} \\ I_{d, n} \\ M_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} V_i \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (c)
 \end{aligned}$$

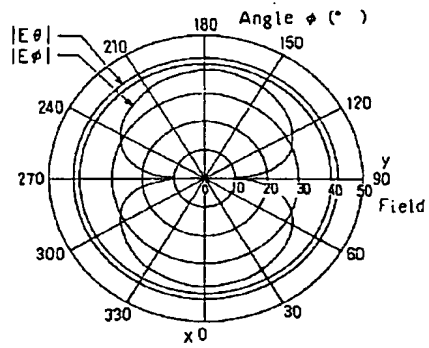
【図24】

分布定数線路近似法の説明図

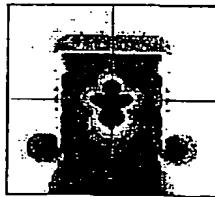


【図 17】

電磁界強度の出力処理の説明図



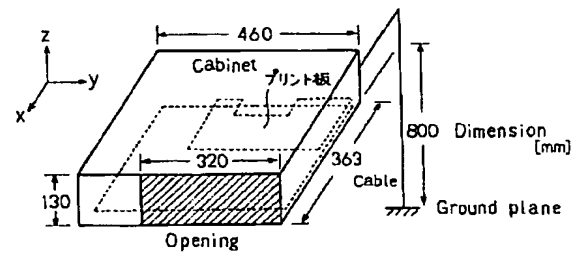
(a)



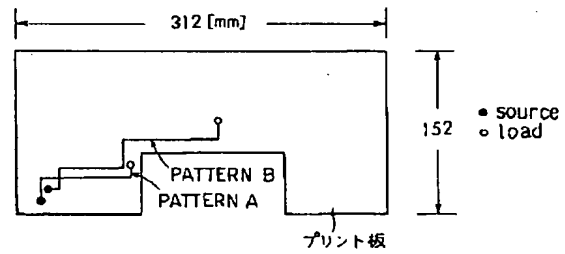
(b)

【図 19】

シミュレーションの説明図



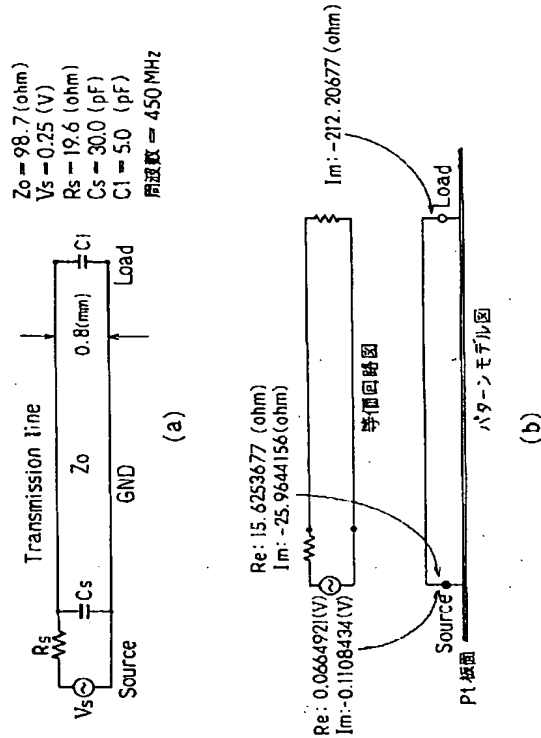
(a)



(b)

【図20】

## シミュレーションの説明図



フロントページの続き

(51) Int. Cl.<sup>6</sup>  
// H 0 5 K 9/00識別記号 庁内整理番号  
Z

F I

技術表示箇所

(72) 発明者 長瀬 健二  
神奈川県川崎市中原区上小田中1015番地  
富士通株式会社内